Određivanje suhe tvari jogurta primjenom mikrovalova - optimizacija putem Simpleks metode

Vahčić Nada, Uršulin-Trstenjak Natalija, Hruškar Mirjana

Izvorni znanstveni rad - Original scientific paper UDK: 637.146.34

Sažetak

Za rješenje mnogih inženjerskih problema treba optimizirati polivarijabilne funkcije. Postoji nekoliko metoda optimizacije, a najjednostavnija od njih je Simpleks metoda. Simpleks zapravo predstavlja geometrijsku sliku definiranu brojem točaka (vrhova) koji je za jedan veći od broja dimenzije prostora. Simpleks u tri dimenzije je tetraedar, a u više dimenzija teško se može sagledati. Svrha je sekvencijalne Simpleks metode pokretati simpleks u područje optimuma, a odluke potrebne da bi se to postiglo ostvaruju se uz pomoć tzv. "pravila" Simpleks metode.

U ovome radu korištena je Simpleks metoda s četiri faktora (varijable) za iznalaženje optimalnih uvjeta rada mikrovalnog uređaja "Milestone" MLS-1200 Mega System, pri određivanju suhe tvari jogurta.

Utvrđeni su optimalni uvjeti rada mikrovalnog uređaja (7 min. i 20 s pri 580 W te 5 min. i 20 s pri 420 W). Rezultati određivanja suhe tvari jogurta bili su identični onima određenim standardnom metodom.

Ključne riječi: jogurt, mikrovalna sušnica, suha tvar/vlaga, Simpleks metoda

Uvod

Za rješenje mnogih inženjerskih problema treba optimizirati polivarijabilne funkcije. To obično obuhvaća proračun parcijalnih derivacija i korištenje gradijentnih metoda. Gradijentne metode imaju nekoliko ograničenja:

- dobivanje analitičkih oblika parcijalnih derivacija može biti mukotrpno za kompleksne funkcije,

- faktor stabilnosti (neka rješenja funkcija diferencijalnih jednadžbi koje imaju posebna svojstva i zadržavaju ih nakon matematičkih operacija) može predstavljati problem za neke funkcije (kao npr. singularitet za $1/x$ kad $x \rightarrow 0$).

Postoji nekoliko metoda optimizacije, a najjednostavnija od njih je Simpleks metoda.

U općepoznatim faktorskim planovima tipa 2^k i reduciranim faktorskim planovima 2^{k-n} eksperimentalne točke raspoređuju se u vrhovima mnogostepenih kocki. Simpleks je zapravo lik pravilnih stranica sa k+1 vrhova u k-dimenzionalnom prostoru.

Simpleks u dvodimenzionalnom prostoru predstavlja trokut, a u trodimenzionalnom prostoru četverostranu piramidu s četiri vrha od kojih je svaki nastao sjecištem triju ploha tzv. krakova ili grana piramida. Simpleks se naziva regularnim ako je razmak između tih vrhova jednak. U praksi je moguće preobrazbom sustava koordinata prevesti neregularni u regularni simpleks.

U eksperimentalnom istraživanju simpleks planiranje ima vrlo široku primjenu i to u zadacima optimizacije kod traženja stacionarnih područja.

Metode

Metoda određivanja regularnog simpleksa počinje linearnom preobrazbom nezavisnih varijabli:

$$Xi = \frac{z_j - z_{j,o}}{\Delta z_j} \qquad (1)$$

gdje je: $z_{j,o}$ j-ta koordinata centra plana,

Δz_j interval variranja j-tog faktora.

Osnovni simpleks može se na različite načine orijentirati u faktorskom prostoru. Ako centar simpleksa pada u ishodište koordinata, jedan od vrhova leži na koordinatnoj osi, a ostali simetrično s drugim osima ploha i hiperbola. Koordinate vrhova simpleksa zadaju se matricom X:

$$X = \begin{vmatrix} X_1 & X_2 & X_j & X_{k-1} & X_k \\ -X_1 & X_2 & X_j & X_{k-1} & X_k \\ 0 & -2X_2 & X_j & X_{k-1} & X_k \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & -jX_j & X_{k-1} & X_k \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & 0 & (k-1)X_{k-1} & X_k \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -kX_k \end{vmatrix} \qquad (2)$$

Ako je duljina stranice simpleksa jednaka jedinici, proizlazi da je razmak od centra jednak:

$$Xj = \frac{1}{2j(j+1)} \tag{3}$$

Visina takvog simpleksa h_k (razmak od vrha do nasuprot ležeće grane) je:

$$h_k = \frac{k+1}{\sqrt{2k \cdot (k+1)}} \tag{4}$$

gdje je k-omjer simpleksa.

Broj pokusa u simpleks planu za k-nezavisnih faktora jednak je odnosu: N=k+1

Simpleks planovi nazivaju se "zasićenima" ako je broj pokusa jednak broju koefcijenata u jednadžbi regresije. U tom slučaju postoje sljedeći uvjeti:

$$\sum_{i=1}^{N} x_{ji} \cdot x_{li} = 0 \qquad j \neq 1 \qquad j,l = 1,2,...k \tag{5}$$

$$\sum_{i=1}^{N} x_{ji} = 0$$

Ne vrijede uvjeti da je: $\sum_{i=1}^{N} x_{ji}^2 = N$

Samo za stupac x_0, kad su svi elementi jednaki jedinici, vrijedi odnos:

$$\sum_{i=1}^{N} x_{0i}^2 = N$$

Za bilo koji j-ti stupac $\sum_{i=1}^{N} x_{ji}^2$ jednak je:

$$\sum_{i=1}^{N} x_{ji}^2 = j \cdot \frac{1}{2j \cdot (j+1)} + j^2 \cdot \frac{1}{2j \cdot (j+1)} = 0{,}5 \tag{6}$$

Prema tome, kovariacijska matrica za plan simpleksa glasi:

$$(X' X)^{-1} = \begin{bmatrix} -1/N & & 0 & \\ & 2 & & \\ 0 & & 2 & \\ & & & 2 \end{bmatrix} \tag{7}$$

a koeficijenti regresije utvrđuju se iz formula:

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^{N} y_i}{N} \quad \text{i} \quad b_j = 2\sum_{i=1}^{n} x_{ji} y_i \qquad j=1,2,...k \tag{8}$$

Simpleks planovi su rotatabilni planovi. Osnovni im je nedostatak što nemaju D-optimalnost. Disperzija koeficijenata u ortogonalnim planovima utvrđuje se formulom:

$$s_{b_j}^2 = \frac{s_{ponavljanja}^2}{\sum_{i=1}^{N} x_{ji}^2} \tag{9}$$

Za simpleks plan to znači da je varijanca koefcijenata jednaka dvostrukoj vrijednosti varijance analitičke greške:

$$s_{bj}^2 = 2 \cdot s_{ponav.}^2 \tag{10}$$

Za planove tipa 2^k i 2^{k-p} vrijedi odnos:

$$s_{bj}^2 = s_{ponav.}^2 / N$$

Zbog toga se koeficijenti jednadžbe regresije, određeni simpleks planom, utvrđuju s manjom točnošću.

Za praktično korištenje simpleks matrice, članovi se mogu izračunati uz pomoć formule (2).

Tako za k=1 broj pokusa iznosi N=k+1, a $x_1 = \sqrt{1/2 \cdot 1 \cdot (1+1)} = 0{,}5$

za k=2 broj pokusa iznosi N=2+1, $x_2 = \sqrt{1/2 \cdot 2 \cdot (2+1)} = 0{,}289$ itd.

Prema tome, članovi simpleks matrice glase:

$$X = \begin{bmatrix} 0{,}5 & 0{,}289 & 0{,}204 & 0{,}158 & 0{,}129 & 0{,}109 & \ldots \\ -0{,}5 & 0{,}289 & 0{,}204 & 0{,}158 & 0{,}129 & 0{,}109 & \ldots \\ 0 & -0{,}578 & 0{,}204 & 0{,}158 & 0{,}129 & 0{,}109 & \ldots \\ 0 & 0 & -0{,}612 & 0{,}158 & 0{,}129 & 0{,}109 & \ldots \\ 0 & 0 & 0 & -0{,}632 & 0{,}129 & 0{,}109 & \ldots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0{,}645 & 0{,}109 & \ldots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0{,}655 & \ldots \end{bmatrix} \tag{11}$$

Plan eksperimenta u bezdimenzionalnom mjerilu za k-faktor sastoji se od (k stupaca) i (k+1 redaka) matrice (10).

Nakon realizacije početnog simpleksa, analiziraju se postignuti rezultati. Sljedeći simpleks računa se u smjeru suprotnom od najlošijeg rezultata prethodnog simpleksa, izostavljajući najlošiji rezultat. Uvjeti za novi pokus mogu se utvrditi na sljedeći način:

$$x_j^{(k+2)} = 2 \cdot \overline{x}_j^{(c)} - x_j^{(1)} \qquad j=1,2...k \qquad (12)$$

gdje su: $x_j^{(1)}$ j-ta koordinata najlošije točke označene sa 1

$x_j^{(k+2)}$ j-ta koordinata nove točke određene kao rezultat refleksije najlošijeg rezultata

$\overline{x}_j^{(c)}$ j-ta koordinata centra na suprotnom kraku

$$\overline{x}_j^{(c)} = \frac{\sum_{i+1}^{k+1} x_j^{(1)}}{k} \qquad j \neq 1 \qquad (13)$$

(Davies, 1960.; Draper i Smith, 1981.; Montgomery, 1984.)

Rezultati i rasprava

Za ilustraciju primjene Simpleks metode iznosi se primjer pronalaženja radnih uvjeta uređaja "Milestone MLS 1200 Mega System" pri određivanju suhe tvari jogurta. Istraživanje je obuhvatilo dva vremenska intervala i dvije snage mikrovalnog zračenja.

Osnovni uvjeti i intervali variranja faktora navode se u tablici 1.

Tablica 1: Osnovni uvjeti pokusa i njihovi intervali variranja
Table 1: Basic trials' conditions and their variable intervals

Faktori Factors	Vrijeme Time ($z_{1.0}$)	Snaga Power ($z_{2.0}$)	Vrijeme Time ($z_{3.0}$)	Snaga Power ($z_{4.0}$)
Nulta razina Basic level (z_j^0)	8 min.	600 W	4 min.	400 W
Interval variranja Variation interval ($\pm z_j$)	±2 min.	±50 W	±2 min.	±50 W

Linearnom preobrazbom postiže se regularni simpleks, koristeći formulu (1). Vrijednosti koefcijenata (x_j) mogu se očitati iz simpleks matrice (11), i to za pet pokusa, jer su analizirana 4 faktora. Ako se želi prikazati vrijednost faktora i u originalnim (mjernim) dimenzijama, koristi se odnos:

$$z_{in}=z_i^0+\Delta z_j x_{in} \tag{14}$$

Plan pokusa i njegovi rezultati unijeti su u tablicu 2.

Vrijednosti faktora u originalnim dimenzijama računate iz ranije navedene formule (14) iznosile su:

$Z_{1.1}$=8+2	0,5=9 min.	$Z_{2.1}$=600+50	0,289=620 W
$Z_{1.2}$=8+2	(-0,5)=7 min.	$Z_{2.2}$=600+50	0,289=620 W
$Z_{1.3}$=8+2	0=8 min.	$Z_{2.3}$=600+50	(-0,578)=570 W
$Z_{1.4}$=8+2	0=8min.	$Z_{2.4}$=600+50	0=600 W
$Z_{1.5}$=8+2	0=8min.	$Z_{2.5}$=600+50	0=600 W
$Z_{3.1}$=4+2	0,204=4 min. 30 sec.	$Z_{4.1}$=400+50	0,158=410 W
$Z_{3.2}$=4+2	0,204=4 min. 30 sec.	$Z_{4.2}$=400+50	0,158=410 W
$Z_{3.3}$=4+2	0,204=4 min. 30 sec.	$Z_{4.3}$=400+50	0,158=410 W
$Z_{3.4}$=4+2	(-0,612)=3 min.	$Z_{4.4}$=400+50	0,158=410 W
$Z_{3.5}$=4+2	0=4 min.	$Z_{4.5}$=400+50	(-0,632)=370 W

Koordinate centra "grane" za novi simpleks (s pokusima 2, 3, 4, 5 i 6, a rezultat pokusa 1 izostavlja se jer je dao najniži rezultat) računaju se formulom (11) odnosno (12).

Koordinate centra za navedeni primjer prema tome glase:

$$X_1^6=2(-0,5)/4-0,5=-0,75$$
$$X_2^6=2(0,289-0,578)/4-0,289=-0,434$$
$$X_3^6=2(0,204+0,204-0,612)/4=-0,306$$
$$X_4^6=2(0,158+0,158+0,158-0,632)/4-0,158=-0,237$$

Rezultati faktora u prirodnim (mjernim) dimenzijama prema formuli (1) iznose:

$$Z_1^6=8+2(-0,75)=6 \text{ min. } 30 \text{ sec.}$$
$$Z_1^6=600+50(-0,434)=580 \text{ W}$$
$$Z_1^6=4+2(-0,306)=3 \text{ min. } 30 \text{ sec.}$$
$$Z_1^6=400+50(-0,237)=3$$

Nakon izvedenog šestog pokusa s izračunatim vrijednostima novog simpleksa (2,3,4,5 i 6) postignut je rezultat zavisne varijable 12,07% suhe tvari.

U ovom simpleksu najlošiji je rezultat pokusa 4 sa 8,17% suhe tvari. Prema tome, sljedeći simpleks računat će se iz podataka pokusa 2., 3., 5. i 6.

Tablica 2: Rezultati plana pokusa postignuti Simpleks metodom pri određivanju udjela suhe tvari u jogurtu
Table 2: Results of trials obtained by Simplex method in determination of total solids content

Broj pokusa Number of trials	Vrijednosti koeficijenata Coefficients' value	Vrijednosti u originalnim dimenzijama Values in original dimensions	Vrijednosti koeficijenata Coefficients' value	Vrijednosti u originalnim dimenzijama Values in original dimensions	Vrijednosti koeficijenata Coefficients' value	Vrijednosti u originalnim dimenzijama Values in original dimensions	Vrijednosti koeficijenata Coefficients' value	Vrijednosti u originalnim dimenzijama Values in original dimensions	Rezultati pokusa - udio suhe tvari (%) Results of trials - total solids (%)					
	$X_{1.j}$	$Z_{1.j}$	$X_{2.j}$	$Z_{2.j}$	$X_{3.j}$	$Z_{3.j}$	$X_{4.j}$	$Z_{4.j}$						
0.		8 min.		600 W		4 min.		400 W	8,63					
1.	0,5	9	0,289	620 W	0,204	4m. 30s.	0,158	410 W	7,55	-	-	-	-	-
2.	-0,5	7	0,289	620 W	0,204	4m. 30s.	0,158	410 W	8,63	8,63	8,63	8,63	-	-
3.	0	8	-0,578	570 W	0,204	4m. 30s.	0,158	410 W	8,52	8,52	8,52	-	-	-
4.	0	8	0	600 W	-0,612	3 min.	0,158	410 W	8,17	8,17	-	-	-	-
5.	0	8	0	600 W	0	4 min.	-0,632	370 W	9,78	9,78	9,78	9,78	9,78	-
6.	-0,75	6m. 30s.	-0,4335	580 W	-0,306	3m. 30s.	-0,237	390 W		12,07	12,07	12,07	12,07	12,07
7.	0,375	7m. 30s.	-0,217	590 W	1,071	6m. 10s.	0,5135	430 W			12,22	12,22	12,22	12,22
8.	-0,437	7m. 10s.	0,3972	620 W	0,2805	4m. 30s.	-0,257	390 W				12,17	12,17	12,17
9.	0,0994	8m. 10s.	-0,416	580 W	0,3188	4m. 40s.	-0,464	420 W					12,19	12,19
10.	-0,334	7m. 20s.	-0,334	580 W	0,6821	5m. 20s.	0,4101	420 W						12,18

Koordinate centra "grane" novog simpleksa (u pokusu 7.) izračunavaju se na analogan način, a rezultati su uneseni u tablicu 2. Uz te uvjete u 7. pokusu postignut je rezultat $y_7=12{,}22\%$.

Sljedeći će se simpleks konstruirati od pokusa 2., 5., 6. i 7., s time da će se rezultat pokusa 3. izostaviti. Koordinate centra novog simpleksa unesene su u tablicu 2. u osmom retku. U toj seriji (8. pokus) postignut je rezultat $y_8=12{,}17$.

U devetom pokusu postignut je rezultat 12,19%, a u 10. pokusu 12,18%.

Kako je to zapravo bio i rezultat određen i standardnom metodom sušenja uzoraka jogurta, to su realni uvjeti 10. pokusa: 7 min. 20 sec. mikrovalnog zračenja snage 580 W i 5 min. 20 sec. mikrovalnog zračenja snage 420 W uzeti kao uvjeti za određivanje suhe tvari u svim istraživanim uzorcima.

Inače, teoretski gledano,ako se u zadnjem izvedenom pokusu (n+1) postigne samo manja promjena rezultata, tada se vraća na prethodni simpleks. U tom se slučaju u tom prethodno postignutom simpleksu ne odbacuje najlošiji rezultat, već se izračunava iz svih pokusa predzadnjeg simpleksa. Time se sada omogućuje daljnji uspon prema ekstremu površine odziva, a ako su rezultati gotovo isti, dolazi do "ciklizacije" oko ekstremne vrijednosti. Za utvrđivanje točne lokacije ekstremnih vrijednosti površine odziva moguće je smanjiti omjer simpleksa za $1/\alpha$ puta ($0<\alpha<1$). Pri zastoju simpleksa i "najboljoj koordinati vrha j-vršni simpleks izračunava se formulom:

$$x_{ij}=(1-\alpha)\cdot x_{is}+\alpha\cdot x_{ij} \qquad (15)$$

gdje su: x_{is} j-ta koordinata najboljeg vrha

x_{ij} j-ta koordinata najmanjeg simpleksa u i-tom pokusu.

Ako se iz dobivenih rezultata realiziranog simpleksa želi utvrditi odgovarajuća površina odziva, može se realizirati samo linearni dio jednadžbe koji će sadržavati (n+1) koeficijenata. Budući da je u tom slučaju broj koeficijenata jednak broju pokusa, takav simpleks plan zapravo je "zasićen" plan. Simpleks plan će u tom slučaju biti ortogonalan u odnosu na koeficijente, tj. $\sum_{i=1}^{n+1} x_{in}\cdot x_{jn}=0$, pod uvjetom da je centar eksperimenta smješten u centar simpleksa.

Iz rezultata realiziranog simpleksa linearni dio jednadžbe sa (n+1) koeficijenata bit će izračunat kao kvocijent sume produkta nezavisne i zavisne varijable i sume kvadrata nezavisne varijable. Praktički to znači da će za koeficijent b_0 vrijediti odnos:

$$b_0=\frac{\sum_{u=1}^{n+1} x_{0_u}\cdot y_u}{n+1}; \text{ budući da je } X_{0_u}=1 \text{ to će } \sum_{u=1}^{n+1} x_{0_u}^2=n+1$$

a za ostale koeficijente odnos:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^{n+1} x_{i_u} \cdot y_u}{\sum_{u=1}^{n+1} x_{i_u}^2} = 2\sum_{u=1}^{n+1} x_{i_u} \cdot y_u$$

Suma kvadrata nezavisne varijable za bilo koji stupac plana $\sum_{u=1}^{n+1} x_{i_u}^2$ daje vrijednost 0,5.

Tako npr. za drugi faktor iznesenog primjera dobiva se:

$$\sum_{u=1}^{n+1} x_{2_u}^2 = 0{,}289^2 \cdot 2 + (-0{,}578)^2 = 0{,}5011$$

Prema tome, koeficijenti linearnog dijela jednadžbe iz podataka prvih pet pokusa bit će:

b_0=8,53 b_1=-1,08 b_2=-0,496 b_3=0,0776 b_4=-1,9778

Jednadžba glasi:

$$Y=8{,}53-1{,}08x_1-0{,}496x_2+0{,}0776x_3-1{,}9778x_4$$

Provjera jednadžbe (15) može se obaviti usporedbom eksperimentalnih i izračunatih vrijednosti, uvrštavajući vrijednost nezavisne varijable za bilo koji od pet izvedenih pokusa. Tako je provjera rezultata u pokusima 1-5 pokazala da nema razlike između eksperimentalnih i izračunatih vrijednosti i jednadžba u potpunosti zadovoljava potrebe prakse.

Za statističku provjeru jednadžbe nužno je odrediti varijance koeficijenata jednadžbe regresije:

$$s^2(b_i) = s^2(\bar{y}) / \sum_{u=1}^{n+1} x_{i_u}^2$$

tako da za izneseni primjer vrijedi:

$$s^2(b_0) = \frac{1}{N} s^2(\bar{y}) = 0{,}048 / 5 = 0{,}096$$

gdje je $s^2(\bar{y})$ varijanca analitičke greške izračunata iz ponovljenih pokusa mjerenja sa N·(m-1)=5·(2-1)=5 stupnjeva slobode.

Varijanca koeficijenata će biti:

$$s^2(b_1) = 2 \cdot s^2(\bar{y}) = 0{,}096$$

$$s^2(b_2) = 0{,}096 \qquad \text{itd.}$$

$$s_{b_j} = \sqrt{0{,}048/2 \cdot 5} = 0{,}069282$$

Vrijednosti t-parametra za koeficijente jednadžbe (15) su:

$t_0=8{,}53/0{,}069=123{,}12$

$t_1=15{,}59$ $\quad t_2=7{,}16$ $\quad t_3=1{,}12$ $\quad t_4=28{,}55$

S obzirom na to da su izračunate vrijednosti t-parametara veće (osim t_3) od onih očitanih iz statističkih tablica, zaključuje se da su koeficijenti jednadžbe (b_0, b_1, b_2, b_4) statistički veći.

Prema tome, s jednadžbom (15) može se potražiti smjer lokacije ekstrema vrijednosti u odzivnoj površini.

Postupak utvrđivanja koraka prema ekstremnoj vrijednosti naveden je u tablici 3. Budući da izračunati koraci nisu u praksi ovog primjera realizirani, prikazan je samo algoritam Box-Wilsonove metode i smjer u kome bi se mogle tražiti ekstremne vrijednosti funkcije.

Iz podataka u tablici 3. proizlazi zaključak da bi ekstrem funkcije odnosno točnije određivanje suhe tvari jogurta trebalo tražiti u smanjenju prvog trajanja i prve snage mikrovalnog zračenja, te u povećanju drugog vremena i smanjenju druge snage mikrovalnog zračenja.

Tablica 3: Podaci za Box-Wilsonovu metodu i smjer traženja ekstrema jednadžbe (15)
Table 3: Data for Box-Wilson method and direction of maximum increase in response

Faktori Factors	Vrijeme Time ($z_{1.0}$)	Snaga Power ($z_{2.0}$)	Vrijeme Time ($z_{3.0}$)	Snaga Power ($z_{4.0}$)
Nulta razina Basic level (z_j^0)	8 min.	600 W	4 min.	400 W
Interval variranja Variables interval ($\pm z_j$)	±2 min.	±50 W	±2 min.	±50 W
Koefcijenti jednadžbe (15) Coeffcients b_i	-1,08	-0,496	0,0776	-1,9778
Produkt Product $b_i \Delta z_j$	-2,16	-24,8	0,1552	-98,89
Interval u kojem treba tražiti ekstrem Maximum response interval	-0,216	-2,48	0,0155	-9,889

Zaključak

U ovom istraživanju korištena je Simpleks metoda kao naročito prihvatljiva zbog svoje jednostavnosti u rješavanju problematike traženja najboljih radnih uvjeta za određivanje suhe tvari jogurta.

Prednost metode dolazi do izražaja ako ispitivani faktori neovisno djeluju u sustavu, tj. ne dolazi do interakcije proučavanih faktora.

Primjenom Simpleks metode utvrđeni su optimalni uvjeti rada (7 min. i 20 s pri 580 W te 5 min. i 20 s pri 420 W) mikrovalnog uređaja "Milestone" MLS-1200 Mega System za određivanje suhe tvari jogurta.

U provedbi Simpleks metode treba poštivati sljedećih pet pravila:

1. Promjena simpleksa obavlja se nakon svakog pojedinog pokusa.

2. Prelazak od jednog do drugog simpleksa obavlja se odbacivanjem točke simpleksa kojemu odgovara najniži rezultat.

3. Ako zrcalna (reflektirajuća) točka postigne najniži rezultat i u novom simpleksu, ne primjenjuje se drugo pravilo, već se odbacuje rezultat koji je najbliži lošem rezultatu prethodno izvedenog simpleksa i on se koristi u novom simpleksu.

4. Ako se neki vrh simpleksa zadržao u k+1 simpleksu prije primjene pravila 2., treba ponovno pregledati rezultat odziva kod tog stalnog vrha.

5. Ako novi vrh simpleksa leži izvan granica nezavisnih varijabli, ne treba izvoditi novi pokus, već ga treba označiti kao veoma nepoželjan.

DETERMINATION OF TOTAL SOLIDS IN YOGURT BY MICROWAVE HEATING - OPTIMIZATION VIA THE SIMPLEX METHOD

Summary

Sometimes it is necessary to optimize polyvariable functions in order to solve many engineering problems. There are a few methods for optimization and Simplex method is one of them. A Simplex is a geometric figure defined by a number of points equal to one more than the number of dimensions of the space. A Simplex in three dimensions is a tetrahedron, and in more dimensions the simplex is not easily visualized. The objective of the sequential simplex method is to force the simplex to move to the region of optimum response. The decisions required to accomplish this constitute are so called "rules" of the Simplex procedure.

In this article an example of the Simplex method with four factors, for illustration this very useful method in searching the best working conditions in determination of total solids in yogurt by microwave heating on "Milestone" MLS-1200 Mega System is given.

Optimal conditions were established (440s on 580 W and 320s on 420 W) and results obtained under these conditions were identical with results of standard method.

Key words: yogurt, microwave heating, total solid/water, Simplex method

Literatura

Davies, O. L. (1960): Design and Analysis of Industrial Experiments, 3rd Ed., Hafner Publ. Co., New York.

Draper, N. R., Smith, H. (1981): Applied Regression Analysis, 2nd Ed., Wiley, New York, Singapore.

Montgomery, D. C. (1984): Design and Analysis of Experiments, 2nd Ed., J. Wiley and Sons, New York, Toronto, Singapore.

Adrese autora - Author's addresses:

Dr. sc. Nada Vahčić
Mr. sc. Natalija Uršulin-Trstenjak
Mr. sc. Mirjana Hruškar
Prehrambeno-biotehnološki
fakultet Sveučilišta u Zagrebu

Primljeno - Received: 03. 03. 1998.
Prihvaćeno - Accepted: 30. 03. 1998.